УДК 519.7: 621.8

Р.М. Трохимчук, Т.М. Трохимчук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
пр. Академіка Глушкова, 4д, Київ, 03680

ІНТЕРАКТИВНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ОБРОБКИ, СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ І РОЗПІЗНАВАННЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

R.M. Trokhymchuk, T.M. Trokhymchuk
Kyiv National Taras Shevchenko University, Kyiv, Ukraine
4d, Academician Hlushkov av, Kyiv, 03680

INTERACTIVE SOFTWARE SYSTEM FOR PROCESSING, STRUCTURAL ANALYSIS AND RECOGNITION OF BIOMEDICAL IMAGES

У роботі описано інтерактивний проблемно-орієнтований програмний комплекс, призначений для автоматизації традиційних процедур обробки, аналізу та розпізнавання біомедичних зображень широкого класу (гістологія, гематологія, цитологія, морфологія клітинних елементів, клінічна лабораторна діагностика і т.п.) з метою отримання даних, необхідних для подальшого прийняття фахівцями інтелектуальних рішень при клінічних обстеженнях та біологічних і медичних дослідженнях. Система здійснює аналіз і розпізнавання об’єктів за допомогою структурних методів.

Ключові слова: біомедичне зображення, структурні методи розпізнавання образів, інтерактивна програмна система.

The problem-oriented interactive software package designed to automate the traditional procedures for processing, analyzing and recognizing a wide range of biomedical images (histology, hematology, cytology, cellular morphology, clinical laboratory diagnostics, etc.) is described in this paper. The goal is to obtain the data necessary for the further adoption of intelligent solutions by specialists in clinical examinations and biological and medical research. The system performs description and recognition of objects using structural recognition methods.

Key words: biomedical image, structural pattern recognition, interactive software system.

На початку 60-х років кілька дослідників незалежно і практично одночасно висунули ідею використання для задач опису, аналізу й розпізнавання образів різноманітних лінгвістичних конструкцій і моделей, що складаються з алфавіту первинних (непохідних) термінальних символів (примітивів) і набору синтаксичних правил для конструювання слів із символів цього алфавіту [1]. При цьому кожному класу образів відповідає множина результатів композиції цих образів з фіксованого набору примітивів, що утворюють алфавіт образів. Таким чином, кожен клас образів описується певною множиною слів або мовою в заданому алфавіті. Сукупність правил композиції, за якими породжуються всі образи певного класу, і тільки вони, називають граматикою (або породжувальною граматикою) цього класу образів.

Внаслідок наявної аналогії між такими принципами побудови образів і принципами генерування слів у класичній теорії формальних мов і граматик ці методи дістали назву *лінгвістичних* або *синтаксичних* методів. Досить швидко лінгвістичні методи вийшли за межі безпосереднього використання моделей класичної теорії формальних мов і граматик, в якій застосовується одна основна операція композиції – конкатенація. Почалися активні дослідження і розробка оригінального математичного апарату, в якому, спираючись на центральну ідею лінгвістичного підходу – зображення образу як композиції (конкатенації) його

підобразів, істотно розширюються набори правил або операцій композиції і відповідно ускладнюються і розвиваються граматики класів образів. Доречно називати такі математичні моделі вже не граматиками класів образів, а *алгебрами* класів образів. Більш складні операції композиції в алгебрах класів образів дозволяють задавати складніші взаємини між підобразами, описувати та аналізувати більш складні структури образів, розширювати сфери застосування автоматизованих систем розпізнавання образів.

У результаті такого інтенсивного й екстенсивного розвитку ці методи швидко вичерпали можливості лінгвістичного або синтаксичного підходу і сьогодні адекватнішою назвою для них є *структурні методи опису та розпізнавання образів*. Зокрема, структурні методи є єдиними придатними для вирішення завдань розпізнавання складних образів, тобто зображень, що містять значну кількість окремих елементів, між якими існують складні просторові взаємини. Такі задачі отримали в літературі назву *аналізу сцен*.

Відзначимо деякі основні й істотні переваги використання структурних методів. Крім традиційної задачі розпізнавання – класифікації образів, тобто задачі віднесення даного образу до певного класу, структурні методи додатково дають також опис структури аналізованого образу.

Структурний підхід надає можливість описувати велику кількість (теоретично нескінченну множину) об’єктів за допомогою порівняно малого числа простих примітивів і правил граматики. Ця можливість базується на використанні рекурсивної природи формальних граматик. Породжувальне правило граматики може бути застосовано будь-яку кількість разів, і, таким чином, дає змогу компактно задавати структурні особливості нескінченної кількості об’єктів.

Структурні методи менш чутливі (а в багатьох випадках взагалі нечутливі) до таких класичних проблем систем розпізнавання, як різноманітні перетворення зображень: поворот, перенесення, зміна масштабу і т.ін. Ця властивість структурних методів є наслідком того, що коли оптимальним чином вирішено проблему опису структури образів (тобто вибору примітивів і правил їхньої композиції), то такий опис образу стає інваріантним щодо всіх зазначених перетворень.

Перші автоматизовані системи розпізнавання, що використовували структурні методи, були дуже чутливі до найменших помилок при виділенні примітивів у початкових образах, тобто вимагали зображень дуже високої якості. Сучасні методи і системи припускають наявність різноманітних пошкоджень та шумів у вихідних зображеннях і дають змогу здійснювати ефективну обробку таких зображень за допомогою методів екстраполяції, різноманітних фільтрацій, застосування стохастичних формальних граматик, означення і використання функцій близькості для синтаксичних об’єктів та ін. [1].

Усі зазначені переваги і позитивні характеристики має пропонована інтерактивна автоматизована програмна система обробки, структурного аналізу і розпізнавання біомедичних зображень BMPR. У першу чергу це пов’язано з тим, що предметна область дії системи BMPR – біомедичні зображення (гістологія, гематологія, цитологія, морфологія клітинних елементів і т.д.) і особливості завдань, які традиційно вирішуються в цій області, дозволяють однозначно віднести проблему автоматизації розпізнавання відповідних образів до аналізу сцен [2,3].

Система BMPR послідовно реалізує всі етапи процедури розпізнавання, що задаються класичною схемою структурного розпізнавання образів [1]. На першому

етапі здійснюється сегментація (або квантування) вихідного зображення. Головною метою сегментації є зменшення ступеня диференційованості цього зображення й усунення з коду зображення різноманітних випадкових локальних пошкоджень і шумів, тобто попередня фільтрація та реставрація зображення з метою поліпшення його якості. Від результатів фільтрації та попередньої обробки істотно залежить ефективність усіх подальших етапів роботи системи.

Найпоширенішим методом здійснення квантування є так званий пороговий метод [4]. У найбільш загальному вигляді пороговий метод задається математично як таке перетворення вихідного зображення:

$$S(x, y) = k, \text{ якщо } T(k-1) \leq f(x, y) < T(k), \; k = 1,2, ..., m,$$

де (x, y) – це координати елемента (або пікселя) зображення; $S(x, y)$ і $f(x, y)$ – значення характеристики пікселя квантованого і вихідного зображення відповідно (наприклад, це може бути рівень яскравості даного пікселя); $T(0)$, $T(1)$, ..., $T(m)$ – порогові значення обраного перетворення T ($T(0)$ – мінімальне, а $T(m)$ – максимальне значення порога). Таким чином, квантоване зображення матиме лише m різних значень характеристик пікселів. Граничний оператор T можна також розглядати як функцію виду: $T((x, y), N(x, y), f(x, y))$, де $N(x, y)$ є певною локальною характеристикою пікселя (x, y) (наприклад, це може бути середній рівень яскравості пікселів, сусідніх з елементом (x, y)).

Існують три основні типи порогового оператора. Якщо оператор T залежить як від значення $f(x, y)$, так і від $N(x, y)$, то метод називається локальним пороговим методом. Якщо оператор T залежить тільки від значення $f(x, y)$, то відповідний метод називається глобальним пороговим методом. Нарешті, якщо T залежить крім значень функцій $f(x, y)$ і $N(x, y)$ також і від значень координат x та y точки зображення, то цей метод називають динамічним пороговим методом.

У системі BMPR застосовано модифікований глобальний пороговий метод.

Значення характеристики пікселя підраховувалися, виходячи зі значень рівнів трьох його колірних складових. Значення відповідних порогових величин та їхня кількість обиралися з урахуванням особливостей досліджуваних зображень. У результаті було зафіксовано три порогові значення, що відповідають значенням найменшої, проміжної і найбільшої яскравості. Це дало змогу отримувати з початкового зображення чітке монохромне зображення об’єкта й уникнути складного аналізу шкали півтонів.

Численні дослідження й експерименти у галузі психології зору і численні результати у галузі створення автоматизованих систем розпізнавання дозволяють стверджувати, що найбільш інформативними характеристиками розпізнаваних образів є контури. Саме контури визначають найважливішу властивість образу – його форму. Контуром на зображенні називають сукупність точок (пікселів), що лежать на межі двох областей зображення з різними значеннями показників пікселів. Об'єкти аналізу для дослідників на біомедичних зображеннях, які використовуються в ранній діагностиці, зазвичай бувають невеликими і малоконтрастними порівняно з навколишнім фоном, що істотно ускладнює проблему виділення контурів таких об’єктів. Крім того, останні характеризуються великою мінливістю, складною геометричною структурою, взаємними накладаннями та довільним розташуванням у просторі зображення.

Застосування модифікованого глобального порогового методу на попередньому етапі дозволило побудувати ефективну і гнучку процедуру виділення

контурів з монохромного зображення. Зокрема, було ефективно вирішено такі традиційні проблеми виділення контурів, як наявність можливих розривів у контурах внаслідок пошкоджень та зашумлення вихідного зображення, а також локальні коливання ліній контурів, які у більшості випадків є несуттєвими для наступних етапів структурного аналізу і розпізнавання. Обхід всіх виділених контурів здійснюється одночасно із запам'ятовуванням пройдених ділянок контурів у бітовому масиві контурів.

З огляду на специфіку предметної області та функціональну орієнтацію системи BMPR для аналізованих зображень було обрано такі три примітиви: дуга опукла назовні, дуга, опукла всередину, та лінія або відрізок. Напрямок опуклості визначається, виходячи з принципу обходу контурів. Обхід контуру здійснюється за годинниковою стрілкою так, що аналізований об'єкт весь час залишається праворуч від напрямку руху. Результатом цього етапу було подання окремих елементів початкового зображення у вигляді слів в обраному алфавіті примітивів.

Побудована формальна граматика перетворює отримані слова до певної нормальної (канонічної) форми. Саме до такої форми, у якій система зберігає у своїй пам'яті зразки (або шаблони) для класифікованих образів.

Система здійснює процедуру класифікації даного образу за допомогою класичного методу порівняння з еталоном. При цьому використовуються три різні функції для оцінки близькості синтаксичних образів з використанням так званої метрики Левенштейна [1], що дає змогу враховувати й ігнорувати можливі локальні спотворення вихідних об'єктів, неминучі при отриманні біомедичних зображень.

Крім класифікації об'єктів зображення за формою система видає ще дві важливі структурні характеристики об'єкта – його периметр і площу. Додатково користувач може отримати основні колірні характеристики будь-якого з розпізнаних об'єктів.

На завершення відзначимо найважливіші особливості даної системи.

Система BMPR здійснює на комп'ютері в реальному масштабі часу ефективну і комплексну обробку, структурний аналіз і розпізнавання зображень у галузі біомедицини (гематологія, цитологія, морфологія клітинних елементів, гістологія, клінічна лабораторна діагностика і т.п.). Початкове кольорове зображення може бути подано на вхід системи в будь-якому з популярних графічних форматів (bmp, gif, jpg, jpeg та ін.).

Система BMPR припускає реалізацію на порівняно малопотужних комп'ютерах з обмеженнями на доступні ресурси оперативної пам'яті, що значно розширює можливості її застосування. Цьому також сприяє досить простий і дружній інтерфейс, розрахований на рядового користувача.

Система BMPR здійснює розпізнавання і класифікацію об'єктів початкового зображення за двома основними характеристиками: формою і розмірами. Розміри об'єкта задаються двома параметрами: периметром і площею, які вимірюються в умовних одиницях залежно від масштабу зображення. Зауважимо, що в системі BMPR форма об'єкта ідентифікується однозначно незалежно від просторового розташування та орієнтації об'єкта. Як результат аналізу зображення за формою виводяться різноманітні кількісні характеристики всього зображення в цілому. Зокрема, виводиться інформація про кількість розпізнаних об'єктів кожного класу (типу) разом з синтаксичним ідентифікатором відповідного класу. Одночасно видаються результати аналізу всього зображення за розмірами (периметрами і площами) об'єктів.

Система BMPR видає на екран дисплея комп'ютера інтегрований структурний опис результатів обробки і аналізу початкового зображення у вигляді монохромного зображення, на якому подано всі розпізнані об'єкти з відображенням їхньої форми і просторового розташування. Отримані дані дають змогу фахівцям істотно економити час і зусилля при виконанні потоку стандартних рутинних операцій над біомедичними зображеннями, приймати більш обґрунтовані інтелектуальні рішення при клінічних обстеженнях та біологічних і медичних дослідженнях, значно підвищувати своєчасність, якість і достовірність діагнозів.

Істотною перевагою системи BMPR є можливість роботи в інтерактивному або діалоговому режимі. Досвід створення і застосування програмних систем для розпізнавання біомедичних зображень свідчить, що розробка повністю автоматичної системи мало доцільна як через складність і значну вартість такої системи, так і з точки зору ефективності її роботи. Для найбільш досконалої автоматичної системи розпізнавання виникають ситуації, в яких вона не здатна прийняти правильне рішення, і отже, здійснює помилковий аналіз. Виходом із цього положення є втручання в процес розпізнавання кваліфікованої людини-фахівця.

Таким чином, інтерактивний режим роботи системи дає змогу користувачеві активно впливати на процес розпізнавання, змінювати режими і параметри функціонування системи, підбираючи в результаті експерименту найбільш оптимальні і найбільш відповідні значення параметрів для даної серії зображень. Зокрема, за допомогою зміни характеристик аналізу колірних складових зображень реалізується ідея так званого «кольорового фільтра». Вибір найбільш адекватного «кольорового фільтра» для заданої серії біомедичних зображень дає змогу на порядок прискорити процедуру і підвищити якість їхнього аналізу. Особливо тоді, коли об'єкти розпізнавання (нормальні або патологічні) мають особливі колірні відмінності. Це цілком відповідає традиційній медичній практиці, коли певні аномальні або патологічні симптоми на відповідних знімках мають особливі колірні характеристики.

Нарешті, система BMPR є надійною, ефективною та відкритою системою. Надійність і ефективність системи підтверджено численними експериментальними випробуваннями. Відкритість системи дозволяє істотно розширювати її можливості. Зокрема, за наявності достатньо обґрунтованих професійних алгоритмів аналізу отримуваних даних, система може автоматично здійснювати попереднє діагностування. Досвід використання подібних систем комп'ютерної діагностики свідчить про те, що якість, своєчасність і достовірність автоматичного або автоматизованого діагностування зазвичай є кращими, ніж у випадку діагностування, яке виконують фахівці середнього рівня кваліфікації.

Дана система є результатом хорошого поєднання класичних математичних моделей і методів структурної теорії розпізнавання образів і досягнень у галузі сучасної технології програмування.

Література

1. Fu K.S. Syntactic Pattern Recognition and Applications. N.Y.: Prentice-Hall, 1982. – 596 p.
2. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. – // М.: Физматлит, 2007. – 440 с.
3. Дюк В., Эмануэль В. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. СПб. Питер, 2003. – 528 с.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012, 1104 с.

Literatura

1. Fu K.S. Syntactic Pattern Recognition and Applications. N.Y.: Prentice-Hall, 1982. – 596 p.
2. Rangayyan R.M. Analiz biomeditsinskih signalov. Prakticheskiy podhod. – // M.: Fizmatlit, 2007. – 440 s.

3. Dyuk V., Emanuel V. Informatsionnyie tehnologii v mediko-biologicheskih issledovaniyah. SPb. Piter, 2003. – 528 s.
4. Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. M.: Tehnosfera, 2012, 1104 s.R.M. Analyz byomedytsynskykh syhnalov. Praktycheskyy podkhod. – // M.: Fyzmatlyt, 2007. – 440 s.

RESUME

R.M. Trokhymchuk, T.M. Trokhymchuk

Interactive software system for processing, structural analysis and recognition of biomedical images

This paper describes a software system that realizes on-computer real-time and interactive, efficient and complex processing, structural analysis and recognition of images in the field of biomedicine (histology, hematology, cytology, morphology of cellular elements, etc.) using methods of structural recognition theory. The purpose of the system is to obtain data that allows specialists to save time and effort significantly while performing the flow of standard routine operations in the analysis of biomedical images, to make more informed intelligence decisions in clinical examinations and biological and medical research, and to significantly improve the timeliness, quality and reliability of diagnoses.

This system involves the implementation of relatively low-power computers with limited resources, which greatly extends the possibilities of its application. This is also facilitated by a simple and user-friendly interface designed for the average user.

The system is a reliable, efficient and open system. The reliability and efficiency of the system is confirmed by numerous experimental tests. Openness of the system allows to considerably expand its possibilities. In particular, if there are sufficiently substantiated professional algorithms for analyzing the data received, the system can automatically perform preliminary diagnosis.

Надійшла до редакції 01.11.2017

